

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-125149

(43)Date of publication of application : 06.05.1994

(51)Int.Cl. H01S 3/18  
 C23C 14/54  
 G02F 1/35  
 H01L 23/29  
 H01L 23/31  
 H01L 31/04  
 H01S 3/10

(21)Application number : 04-299295

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 12.10.1992

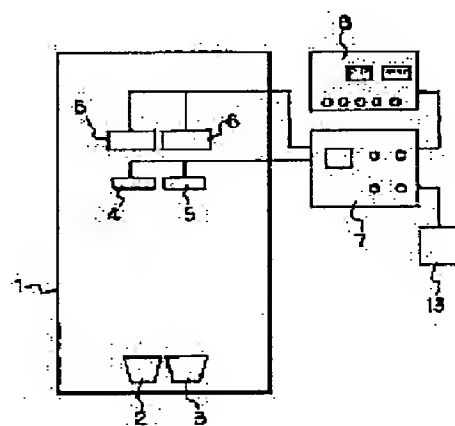
(72)Inventor : KANEKO KUMIKO

## (54) SEMICONDUCTOR ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF

## (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a semiconductor element coated with dielectric thin film layers, which can easily exercise the control of film thickness and is good also in reproducibility, and a method of manufacturing the element.

CONSTITUTION: Two layers of dielectric thin film are applied on a semiconductor laser 5. When the thin film layers are formed, a semiconductor laser 4 having a wavelength  $\lambda 1$  to satisfy a formula  $d1 = \lambda 1 / 4n2$  including the film thickness (d1) of the first layer thin film layer, which is calculated on the basis of a combination of the refractive index (n1) of the first layer thin film layer and the refractive index (n2) of the second layer thin film layer, is used as a laser for monitor. EB is applied on ZnS, which is an evaporation source 2, in a state that the laser 4 for monitor is made to drive and a film is formed on the lasers 4 and 5. When a signal from a PD 6 shows the lowest point in a lock-in amplifier 8, the film formation using the ZnS is stopped. Then, the laser 5 is made to drive, a film formation using MgF2, which is an evaporation source 3, is performed and when the output of the laser 5 shows the lowest point, the film formation using the MgF2 is stopped and a two-layer AR film is formed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-125149

(43)公開日 平成6年(1994)5月6日

| (51)Int.Cl. <sup>3</sup>        | 識別記号  | 庁内整理番号  | F I            | 技術表示箇所 |
|---------------------------------|-------|---------|----------------|--------|
| H 0 1 S 3/18                    |       |         |                |        |
| C 2 3 C 14/54                   |       | 8520-4K |                |        |
| G 0 2 F 1/35                    | 5 0 1 | 9316-2K |                |        |
|                                 |       | 8617-4M | H 0 1 L 23/ 30 | D      |
|                                 |       | 7376-4M | 31/ 04         | F      |
| 審査請求 未請求 請求項の数29(全 12 頁) 最終頁に続く |       |         |                |        |

(21)出願番号 特願平4-299295

(22)出願日 平成4年(1992)10月12日

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 金子 久美子

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ  
ノン株式会社内

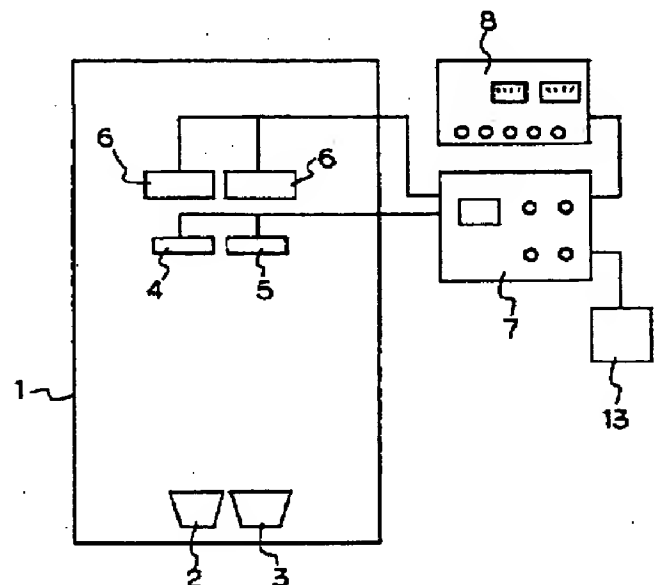
(74)代理人 弁理士 加藤 一男

(54)【発明の名称】 半導体素子及びその製造方法

(57)【要約】

【目的】膜厚制御が容易にでき再現性もよい誘電体薄膜層を施した半導体素子及びその製造方法である。

【構成】半導体レーザ5に2層の誘電体薄膜層を施す。その薄膜層を形成する際、1層目の屈折率 $n_1$ と2層目の屈折率 $n_2$ の組合せから計算される1層目の膜厚 $d_1$ を含む式 $d_1 = \lambda_1 / 4 n_1$ を満足させる波長 $\lambda_1$ の半導体レーザ4をモニター用として用いる。モニター用レーザ4を駆動させた状態で蒸発源2のZnSにEBをあて、半導体レーザ4、5に成膜する。PD6からの信号がロックインアンプ8で最低点を示す時、ZnSの成膜をやめる。次に、半導体レーザ5を駆動させ、蒸発源3のMgF<sub>2</sub>の成膜を行ない、レーザ5の出力が最低点を示した時、MgF<sub>2</sub>成膜をやめ、2層AR膜を形成する。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に多層の誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、その誘電体薄膜層を形成する際、1層目の誘電体薄膜材料の所望の膜厚 $d_1$ に、1層目の誘電体薄膜材料の屈折率を $n_1$ とすると、 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4 \times m$  ( $m$ は整数)の関係を満足させるようにするモニター波長 $\lambda_1$ を用いることを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項2】 半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に2層の誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、その誘電体薄膜層を形成する際、1層目の誘電体薄膜材料の所望の膜厚 $d_1$ に、1層目の誘電体薄膜材料の屈折率を $n_1$ とすると、 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4 \times m$  ( $m$ は整数)の関係を満足させるようにし、2層目の誘電体薄膜材料の所望の膜厚 $d_2$ に、2層目の誘電体薄膜材料の屈折率を $n_2$ とすると、 $n_1 d_1 + n_2 d_2 = \lambda_2 / 4 \times m'$  ( $m'$ は整数)の関係を満足させるようにする2つの異なるモニター波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を用いることを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項3】 半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に誘電体薄膜を形成する際のモニター波長発振用に半導体レーザを用い、該半導体レーザの光入出力面の少なくとも一方に、直接、該誘電体薄膜を形成する実時間モニターとすることを特徴とする請求項1または2記載の半導体素子の製造方法。

【請求項4】 半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に誘電体薄膜を形成する際のモニター用にガラス板を用い、そのガラス板に単一モニター波長を当てその反射を受光する方法を用いることを特徴とする請求項1または2記載の半導体素子の製造方法。

【請求項5】 前記単一モニター波長発振用に半導体レーザを用いることを特徴とする請求項1、2または4項記載の半導体素子の製造方法。

【請求項6】 前記単一モニター波長発振用にガスレーザを用いることを特徴とする請求項1、2または4記載の半導体素子の製造方法。

【請求項7】 前記単一モニター波長用に白色光を分光して用いることを特徴とする請求項1、2または4記載の半導体素子の製造方法。

【請求項8】 半導体層の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体素子において、誘電体薄膜層が酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ であり、該 $ZrO_2$ の組成および屈折率が該酸素の分圧によって制御されて実現されていることを特徴とする半導体素子。

【請求項9】 前記酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ 膜は、半導体素子端面から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が高い屈折率から低い屈折率になっていることを特徴とする請求項8記載の半導体素子。

【請求項10】 前記酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ 膜は、半導体素子端面側から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が低い屈折率から高い屈折率になっていることを特徴とする請求項8記載の半導体素子。

【請求項11】 前記酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ 膜は電子ビーム蒸着法により形成され、その成膜時真空度が $10^{-5}$ Torr台から $10^{-3}$ Torr台であることを特徴とする請求項8、9または10記載の半導体素子。

【請求項12】 半導体層の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、誘電体薄膜層が酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ であり、該 $ZrO_2$ の組成および屈折率が該酸素の分圧によって制御されることを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項13】 前記酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ 膜は、酸素の分圧の制御によって、半導体素子端面から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が高い屈折率から低い屈折率になっていることを特徴とする請求項12記載の半導体素子の製造方法。

【請求項14】 前記酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ 膜は、酸素の分圧の制御によって、半導体素子端面側から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が低い屈折率から高い屈折率になっていることを特徴とする請求項12記載の半導体素子の製造方法。

【請求項15】 前記酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ 膜は電子ビーム蒸着法により形成され、その成膜時真空度が $10^{-5}$ Torr台から $10^{-3}$ Torr台であることを特徴とする請求項12、13または14記載の半導体素子の製造方法。

【請求項16】 半導体層の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体素子において、該誘電体薄膜層が、半導体素子の光入ないし出力面側に形成され安定した組成を示す緻密な膜質の $ZrO_2$ 層であることを特徴とする半導体素子。

【請求項17】 前記 $ZrO_2$ 膜は、半導体素子端面から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が高い屈折率から低い屈折率になっていることを特徴とする請求項16記載の半導体素子。

【請求項18】 前記 $ZrO_2$ 膜は、半導体素子端面から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が低い屈折率から高い屈折率になっていることを特徴とする請求項16記載の半導体素子。

【請求項19】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層は高周波スパッタ法により形成されることを特徴とする請求項16、17または18記載の半導体素子。

【請求項20】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層はプラズマCVDにより形成されることを特徴とする請

(3)

求項16、17または18記載の半導体素子。

【請求項21】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層は、その成膜時真空度が $10^{-2}$ Torr台から $10^{-6}$ Torr台であることを特徴とする請求項16、17、18、19または20記載の半導体素子。

【請求項22】 前記緻密な膜質層を形成する際、酸素雰囲気を含む雰囲気中で作製することを特徴とする請求項16、17、18、19、20または21記載の半導体素子。

【請求項23】 半導体層の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、該誘電体薄膜層が、半導体素子の光入ないし出力面側に形成され安定した組成を示す緻密な膜質層であり、該膜質層は高周波スパッタ法により形成されることを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項24】 半導体層の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、該誘電体薄膜層が、半導体素子の光入ないし出力面側に形成され安定した組成を示す緻密な膜質層であり、該膜質層はプラズマCVDにより形成されることを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項25】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層が $ZrO_2$ であることを特徴とする請求項23または24記載の半導体素子の製造方法。

【請求項26】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層が $ZrO_2$ であり、該 $ZrO_2$ 膜は、半導体素子端面から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が高い屈折率から低い屈折率になっていることを特徴とする請求項23または24記載の半導体素子の製造方法。

【請求項27】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層が $ZrO_2$ であり、該 $ZrO_2$ 膜は、半導体素子端面から空気側の膜厚方向において、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が低い屈折率から高い屈折率になっていることを特徴とする請求項23または24記載の半導体素子の製造方法。

【請求項28】 前記安定した組成を示す緻密な膜質層は、その成膜時真空度が $10^{-2}$ Torr台から $10^{-6}$ Torr台であることを特徴とする請求項23または24記載の半導体素子の製造方法。

【請求項29】 前記緻密な膜質層を形成する際、酸素雰囲気を含む雰囲気中で作製することを特徴とする請求項23または24記載の半導体素子の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体レーザ、受光素子、半導体光増幅器などの半導体素子及びその製造方法に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】 現在、半導体素子は小型、高効率等の特徴を有し、各種の応用が進展し、多目的に利用されている。この半導体素子の光入出力面に誘電体薄膜を形成

し、保護膜、高反射膜あるいは反射防止膜（AR）として用いると、半導体レーザでは高出力化、長寿命化等が得られたり、受光素子においては、受光効率が向上したり、あるいは半導体光増幅器においては、特性が向上したり等して、半導体素子全般にこれらの膜の製造技術は重要である。

【0003】 この中で、半導体光増幅器は、将来の光ファイバー伝送や光データ処理のデバイスとして有望視されている。この半導体光増幅器は、活性層を含む半導体レーザ構造を有し、その光入出力面に反射防止膜（AR）コーティングを施すことによって、電流注入によって高い内部ゲインを与えた場合にも、レーザ発振が抑えられるような構造をしている。例えば、半導体光増幅器は、図14に示す様に、基板100上形成された上下クラッド層105、106に挟まれた活性層102を含む半導体レーザ構造101を有し、そのへき開端面に無反射（AR）コーティング103a、103bを施すことによって、電流104の注入で高い内部ゲインを与えた場合にもレーザ発振が抑えられる様な構造を有している。

【0004】 このARコーティングの良否は半導体光増幅器の性能を左右し、入力波長スペクトルに対するゲインの増減（ゲインリップル）を抑えるにはARコート膜の反射率を低く抑える必要がある。ゲインリップルを2dBとした場合の単一通過ゲインGとAR反射率Rとの条件は

$$G \cdot R \leq \text{または} < 0.1$$

で与えられる。例えば、ゲイン20dBとした場合の反射率は、 $R \leq \text{または} < 0.1\%$ となる。

【0005】 反射率を低減し、波長に対するゲインリップルを解消した光増幅器は、多波長多重化信号の光増幅に有用であり、進行波型光増幅器と称される。ARの手段としては、通常、光入出力面に、所望の屈折率を有する誘電体膜が $\lambda/4$ （ $\lambda$ は光波長）の厚さで形成されている。所望の屈折率は、用いる半導体材料、導波路構造で異なるがGaAs/AlGaAs系のレーザにおいては、最適屈折率の値はおおよそ $n \approx 1.85$ である。このARコーティングは、EB蒸着法、スパッタ法、プラズマCVD法等による真空蒸着法により形成されるのが一般的である。

【0006】 そして、 $\lambda/4$ の厚さで $n \approx 1.85$ のコーティングを形成する方法には、単一材料あるいは混合物により、蒸着条件を制御し一層構造とする方法があり、例えば $SiO_2/SiO$ で酸素導入量の制御によって $SiO_x$ を実現し、低反射率を達成する。あるいは、屈折率2.2の $TiO_2$ と屈折率1.63の $Al_2O_3$ を組み合わせ、2層構造によって低反射率を達成したり、あるいは多層構造によって実現する。

【0007】 このように真空蒸着法により上記のような薄膜を形成する場合の膜厚制御方法としては、水晶振動

(4)

子によって行なわれることがほとんどで、材料の比重等から膜厚を換算する方法である。

【0008】図14に沿って説明すれば、ARコーティング103a、103bの形成手段としては、通常、へき開面に所望の屈折率を有する誘電体膜を $\lambda/4$  ( $\lambda$ は光波長)の厚さで堆積している。ここでの所望の屈折率は、前述した様に、用いる半導体材料、導波路構造で異なるが、GaAs/AlGaAs系のレーザにおいては、最適屈折率の値はおおよそ $n \approx 1.85$ である。また、この半導体光増幅器の光入出力面に反射防止膜を形成する方法としては、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等の酸化物、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 等の窒化物を、スパッタ法、EB蒸着法、プラズマCVD法等の真空蒸着法により、単層膜であったり、2層膜あるいは、それ以上の多層膜として形成する方法がある。

【0009】更に具体例を上げると、この半導体光増幅器の光入出力面にARコーティングを形成する方法としては、例えば電子ビーム(EB)蒸着により、 $\text{SiO}_2/\text{SiO}$ で酸素量の制御によって $\text{SiO}_x$  ( $1 < x < 2$ )組成を実現し、InP系の半導体光増幅器において反射率0.01%以下の無反射コーティングを達成したという報告例がある。

【0010】

【発明が解決しようとしている課題】しかしながら、上記従来例では以下のような問題点があった。

【0011】1層のARコーティングの場合、所望の波長光を利用した実時間モニターを用いれば、所望の膜厚を得ることができ、容易に低反射率が得られる。しかし、2層あるいは多層構造であると、各層の膜厚制御を非常に厳しくしないと、広帯域対応及び低反射率は達成できず、通常使用される水晶振動子による膜厚制御方法では、誤差が大きく、所望の膜厚を得ることは困難である。

【0012】また、1つの材料により形成する単層膜については、GaAs/AlGaAs系の半導体素子においては、最適屈折率の値はおおよそ $n \approx 1.85$ であり、この屈折率を持つ材料がない。

【0013】更に、2層あるいは多層構造にすると、半導体素子に対応させて低反射率になるように、酸化物、窒化物の各材料の屈折率を組み合わせで設計することができるが、前述した様に、各層の膜厚制御が非常に厳しくなり、再現性も困難である上に、いくつもの材料を使用するので、コストも高くなり、生産性も悪くなる。

【0014】更にまた、上記従来例の如く、ARコーティング材料の組成比を制御し所望の屈折率を実現する半導体光増幅器では、薄膜が安定組成からずれる為に以下の様な問題点がある。

【0015】ARコーティングが安定した組成からずれている為、幾つかの安定した組成の組み合わせ(例えば、 $\text{SiO}_x$ の場合、 $\text{SiO} + \text{SiO}_2$ )で蒸着が起こ

り、材料融点の差、充填率(packing density)の差などにより安定した作製条件を維持するのが難しい。

【0016】同じく安定組成からずれているので、ARコーティングの薄膜の充填率が低く、半導体端面の保護(パッシベーションないし不活性化)の機能が低下し、出力光の増大に伴ってデバイスの耐久性、寿命が著しく劣化する。

【0017】また、2層あるいは多層構造にすると、半導体素子に対応した最適反射率になる様に設計することができるが、各層の膜厚制御が非常に厳しくなる上に、安定した作製条件を維持するのが難しく、再現性も困難になる。

【0018】従って、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、膜厚制御が容易にでき再現性もよく広帯域対応の誘電体薄膜層を施した半導体素子及びその製造方法を提供することにある。

【0019】また、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、半導体素子に適した屈折率で作製条件、膜厚制御が容易に再現性よく実現でき、コストも安く、また生産性もよい半導体光増幅器などの半導体素子及びその製造方法を提供することにある。

【0020】また、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、耐久性、再現性のよい半導体光増幅器などの半導体光素子及びその製造方法を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の形態によれば、半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に多層の誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、その誘電体薄膜層を形成する際、1層目の誘電体薄膜材料の所望の膜厚 $d_1$ に、1層目の誘電体薄膜材料の屈折率を $n_1$ とすると、 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4 \times m$  ( $m$ は整数)の関係を満足させるようにするモニター波長 $\lambda_1$ を用いたり、あるいは半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に2層の誘電体薄膜層を施した半導体素子の製造方法において、その誘電体薄膜層を形成する際、1層目の誘電体薄膜材料の所望の膜厚 $d_1$ に、1層目の誘電体薄膜材料の屈折率を $n_1$ とすると、 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4 \times m$  ( $m$ は整数)の関係を満足させるようにし、2層目の誘電体薄膜材料の所望の膜厚 $d_2$ に、2層目の誘電体薄膜材料の屈折率を $n_2$ とすると、 $n_1 d_1 + n_2 d_2 = \lambda_2 / 4 \times m'$  ( $m'$ は整数)の関係を満足させるようにする2つの異なるモニター波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を用いることによって、膜厚制御が容易にでき、再現性もよく広帯域対応の半導体素子を作製することができる。

【0022】特に、本発明の第1の形態では、半導体素子に適した屈折率で膜厚制御ができるので、反射防止膜(AR)、保護膜などとして、光入出力半導体素子、例えば、半導体レーザ、半導体光増幅器、フォトディテクター等への応用にも有効である。モニター波長発振用に

(5)

は、半導体レーザ、ガスレーザ、白色光と分光器などが用いられる。モニター波長発振用に半導体レーザを用いるとき、この半導体レーザの光入出力面の少なくとも一方に、直接、誘電体薄膜を形成する実時間モニターとすることも出来る。

【0023】また、本発明の第2の形態によれば、上記目的を達成するために半導体素子の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体素子において、その誘電体薄膜層が酸素を含む雰囲気中において形成された $ZrO_2$ であり、 $ZrO_2$ の組成および屈折率を酸素分圧によって制御することにより、屈折率、膜厚制御等の再現性が良く、また $ZrO_2$ と一つの材料であるためコストが安く、生産性を向上することができるものである。

【0024】特に、本発明の第2の形態では、半導体素子に適した屈折率に制御できるので、反射防止膜(AR)、反射膜、保護膜として光入出力半導体素子、例えば半導体レーザ、半導体光増幅器、フォトディテクター等の応用にも有効である。

【0025】また、上記目的を達成する本発明の第3の形態による半導体素子ないしその製造方法では、半導体素子の光入ないし出力面に誘電体薄膜層が施され、その誘電体薄膜層が、半導体素子の光入出力面側に形成され安定した組成を示す緻密な膜質層(典型的には、 $ZrO_2$ )であることにより、耐久性が良く、屈折率、膜厚制御は容易に再現性が得られ、また材料が一つであるためコストが安く、生産性が向上することができるものである。前記安定した組成を示す緻密な膜質層は高周波スパッタ法により形成されたり、プラズマCVDにより形成されたりし、また安定した組成を示す緻密な膜質層は、その成膜時真空度が $10^{-2}$ Torr台から $10^{-6}$ Torr台であったり、緻密な膜質層を形成する際、酸素雰囲気を含む雰囲気中で作製されたりする。

【0026】特に、本発明の第3の形態では、半導体素子に適した屈折率に制御でき耐久性も良いので、反射防止膜(AR)反射膜、保護膜として光入出力半導体素子、例えば、半導体レーザ、半導体光増幅器、フォトディテクター等の応用にも有効である。

【0027】

【実施例1】以下に本発明の第1実施例を説明する。図1は本実施例の特徴をよく表わす装置図であり、同図において、1はEB(電子ビーム)蒸着装置、2、3は蒸発源、4はモニター用半導体レーザ、5は、例えば半導体光増幅器として製造しようとする半導体レーザ、6はフォトディテクター、7はコントローラー、8はロックインアンプ、13は電源である。

【0028】本実施例で、2層ARコーティングを得たい半導体レーザ5の発振波長は900nmである。この時、1層目の成膜材料の屈折率 $n_1$ と2層目の材料の屈折率 $n_2$ との組合せから計算される1層目の膜厚 $d_1$ を含む式 $d_1 = \lambda_1 / 4n_1$ を満足させる発振波長 $\lambda_1$ を持つ半

導体レーザ4をモニター用として用いればよい。

【0029】本実施例での1層目の材料をZnSで $n_1 = 2.28$ とし、その膜厚を $d_1$ とし、2層目の材料を $MgF_2$ で $n_2 = 1.38$ とし、その膜厚を $d_2$ とした時の反射率R(%)と膜厚の関係のシミュレーション結果を図2に示す。図2より、反射率が0.1%以下となるようなZnSの膜厚 $d_1$ は80~82nmであることが必要である。材料の屈折率 $n_1$ が2.28で、 $d_1$ が80~82nmであるとき、上記式 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4$ から、モニター用半導体レーザの発振波長 $\lambda_1$ がおおよそ740nmであれば良いことが計算される。

【0030】これにより、本実施例での半導体レーザ4は発振波長740nmの半導体レーザを用い、半導体レーザ5は発振波長900nmの半導体レーザを用い、蒸発源2はZnS、蒸発源3は $MgF_2$ を使用する。

【0031】まず、モニター用半導体レーザ4を駆動させた状態で蒸発源2のZnSにEBをあて、材料を蒸発させ、半導体レーザ4および半導体レーザ5の光入出力面に成膜する。半導体レーザ4の光入出力面にZnSが成膜されていくと、フォトディテクター6が受けるパワーが変化する。半導体レーザ4の膜厚が約81nmになった時、フォトディテクター6からの信号はロックインアンプ8で最低点を示すのでそこでZnSの成膜をストップする。

【0032】次に、目的とする半導体レーザ5を駆動させ、蒸発源3の $MgF_2$ の成膜を行なう。半導体レーザ5の出力をモニターし、半導体レーザ5の出力が最低点を示した時、 $MgF_2$ の成膜をストップし、2層ARコート膜を形成した。半導体レーザ5の光入出力面には、1層目にZnSが約81nm成膜されており、容易に膜厚制御ができており、低反射率な2層ARコート膜を再現性よく実現できている。

【0033】図3に、本実施例で作製した2層ARコート膜と、 $n = 1.85$ で作製した単層ARコート膜の波長に対する反射率特性を示す。図3より、反射率が0.1%以下である単層ARコート膜の波長範囲は約53nmであり、本実施例の2層ARコート膜のそれは約92nmであり、最適単層ARコート膜より、39nmも低反射率の波長範囲が広がっており、広帯域対応のものができたことが分かる。。

【0034】

【実施例2】以下に本発明の第2実施例を説明する。本実施例で2層ARコート膜を得たい半導体レーザの発振波長は830nmであり、最終的に半導体レーザ構造を持つ半導体光増幅器を得る。2層ARコート膜の1層目の材料をZnSでその屈折率を $n_1 = 2.00$ 、膜厚を $d_1$ とし、2層目の材料を $Al_2O_3$ でその屈折率を $n_2 = 1.63$ 、膜厚を $d_2$ とした時の、2層ARコート膜の反射率R(%)と膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ の関係のシミュレーション結果を図4に示す。図4より、反射率が0.1%以下

(6)

となるような $ZrO_2$ の膜厚 $d_1$ は、60～80nmであることが必要である。材料の屈折率が2.0で $d_1$ が60～80nmであるとき、 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4$ の関係を満たすモニター波長 $\lambda_1$ は480～640nmであれば良いことが計算される。

【0035】図5は、本実施例の側面図であり、実施例1とほとんど同様であるが、9はガスレーザ、10は石英基板を示す。この時の半導体レーザ5は発振波長が830nmのものを使用し、ガスレーザ9はArガスレーザで発振波長は514nm(480～640nmの範囲にある)であり、蒸発源2は $ZrO_2$ 、蒸発源3は $Al_2O_3$ を使用している。

【0036】本実施例では、まず、Arガスレーザ9のレーザビームを石英基板10の表面に合わせ、その反射がフォトディテクター6に入るようにセットし、蒸発源2の $ZrO_2$ にEBをあて、材料を蒸発させ、石英基板10と半導体レーザ5の面に成膜する。Arガスレーザ9のビームは石英基板10に当たっているため、そこに $ZrO_2$ が成膜されていくとフォトディテクター6が受けるパワーが変化する。石英基板10上の膜厚が約65nmになった時、フォトディテクター6からの信号はロックインアンプ8で最高点を示すので、そこで $ZrO_2$ の成膜をストップする。

【0037】次に、半導体レーザ5を駆動させ、蒸発源3の $Al_2O_3$ の成膜を行ない、半導体レーザ5の出力をモニターする。半導体レーザ5の出力が最低点を示した時、 $Al_2O_3$ の成膜をストップし、2層ARコート膜を形成する。所望の半導体レーザ5の光入出力面には、1層目に $ZrO_2$ が約65nm成膜されており、低反射率の2層ARコート膜を容易に再現性よく実現できている。この中でガスレーザはArに限ることなく、He-Ne、Xe等でもよく、1層目の成膜材料の屈折率と2層目の材料の屈折率との組合せから計算される1層目の膜厚 $d_1$ に $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4$ の関係を満たさせるようにする発振波長 $\lambda_1$ をもつガスレーザであれば、いずれのものでもよい。

【0038】このARコート膜を片面に形成した半導体素子は半導体レーザとして使用し、また上記の如く両面に形成した半導体素子は光増幅器として使用され、高性能が得られる。この時、形成された薄膜層の屈折率 $n_1$ は、半導体素子の屈折率 $\sqrt{n_s}$ より高く、光入出力面側の屈折率 $n_1 (=2.00)$ が高いので反射成分が低減でき高性能が得られる。

【0039】

【実施例3】以下に本発明の実施例3を説明する。本実施例で2層ARコート膜を得たい半導体レーザの波長は830nmであり、1層目の材料を $Al_2O_3$ でその屈折率を $n_1 = 1.63$ 、膜厚を $d_1$ とし、2層目の材料を $AlN$ でその屈折率を $n_2 = 2.00$ 、膜厚 $d_2$ とした時の、2層ARコート膜の反射率 $R(\%)$ とこれら膜厚の

関係のシミュレーション結果を図6に示す。図6より、反射率が0.1%以下となるような $Al_2O_3$ の膜厚 $d_1$ は、40nm～60nmであることが必要である。1層目の材料の屈折率 $n_1$ が1.6でその膜厚 $d_1$ が40nm～60nmであるとき、 $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4$ の関係を満たすモニター波長 $\lambda_1$ は約260nm～395nmであれば良いことが計算される。

【0040】図7は本実施例の側面図であり、実施例2とほとんど同様であるが、11は白色ランプ、12は分光器を示す。この時の半導体レーザ5は830nmのものを使用し、分光器12は380nmに合わせており、蒸発源2は $Al_2O_3$ 、蒸発源3は $AlN$ を使用している。

【0041】本実施例では、まず、分光器12からの光ビームを石英基板10の表面に合わせ、その反射がフォトディテクター6に入るようにセットし、蒸発源2の $Al_2O_3$ を石英基板10の表面と半導体レーザ5の面に成膜し、実施例2と同様に最高点を示すところで $Al_2O_3$ の成膜をストップする。

【0042】次に、半導体レーザ5を駆動させ蒸発源3の $AlN$ の成膜を行い、半導体レーザ5の出力が最低点を示した時、 $AlN$ の成膜をストップし2層ARコート膜を形成した。所望の半導体レーザ5の光入出力面には、1層目に $Al_2O_3$ が約58nm成膜されており、低反射率の2層ARコート膜を容易に再現性よく実現できている。

【0043】この中で、分光器は波長変換が容易であり、1層目の材料の屈折率、2層目の材料の屈折率との組合せから計算される1層目の膜厚 $d_1$ に $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4$ の関係を満たすようにさせるモニター波長 $\lambda_1$ は、波長分散をふまえて分光器からの波長をこれに合わせることで、容易に達成できる。

【0044】以上の実施例では、EB蒸着装置を用いる例をあげたが、EB蒸着装置に限ることなく、スパッタ装置、プラズマCVD装置等も使用できる。

【0045】

【実施例4】以下に本発明の第4実施例を説明する。

【0046】図8は本発明の第4実施例の特徴を良く表わす図面であり、同図において、21は半導体基板、22は半導体基板端面に形成した $ZrO_2$ 薄膜層を示す。本実施例において、基板21はn型GaAs結晶基板とし、25～28はMBEあるいはMOCVDで形成したエピ層である。即ち25は $p^+$ -GaAsキャップ層、26はp型AlGaAsクラッド層、27はGaAs活性層、28はn型AlGaAsクラッド層、23、24はAu電極である。

【0047】本実施例では、EB蒸着法を使用する。EB蒸着装置に半導体基板21をセッティングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。次に酸素を導入し、 $ZrO_2$ のEB蒸着を行う。この時、成膜時真空度を $2 \times$



(7)

$10^{-4}$ Torrに固定して成膜し、 $\lambda/4$  ( $\lambda$ は波長)の膜厚となる様に実時間モニターを行いARコーティングを形成した。この膜厚の制御は、モニターサンプルを用い、定電流駆動のレーザの前面あるいは後面出力をモニターする方法、あるいは石英基板の反射光をモニターする方法などの実時間モニター法によって行われるので、精度よく膜厚が形成される(これについては、前記実施例を参照)。

【0048】こうして作製された半導体光増幅器は、ゲインリップルの測定により、ARコーティングの反射率が0.1%以下のものを容易に実現できることがわかった。半導体光増幅器をしきい値電流より少し小さい定電流注入状態とし、外部からレンズあるいは光ファイバによって光波を入力させ、半導体光増幅器に結合させることにより、増幅光波を得ることができる。こうして内部ゲイン20~30dBを達成している。

【0049】図9は、 $ZrO_2$ 膜の成膜時真空度と屈折率の関係を示す。このグラフより、成膜時真空度によって屈折率が変化することがわかる。これより、成膜時真空度が $2 \times 10^{-4}$ Torr程度であれば、 $ZrO_2$ 膜の屈折率が約1.85になり、半導体素子に適した屈折率であることがわかる。

【0050】この様に半導体素子に適したARコーティングを形成することができ、一種類の材料であるため、コストも安く、成膜条件も一定のため生産性もよいという効果がある。

【0051】

【実施例5】第5実施例は、図8の第4実施例の断面の様子と、基本的には同じである。

【0052】まず、EB蒸着装置に半導体基板21をセッティングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。次に酸素を導入し $ZrO_2$ のEB蒸着を行う。この時、成膜時真空度を成膜始めは $8 \times 10^{-5}$ Torr程度で成膜し、膜が成膜し始めたら徐々に酸素量を増加させ、成膜時真空度を $3 \times 10^{-4}$ Torr程度まで変化させる。膜厚は、第4実施例と同様に実時間光学モニターを行ない、ARコーティングを形成した。図10で示すように屈折率は膜厚方向において、半導体基板側から空気側にかけて1.93から1.83程度まで変化していることがわかる。

【0053】こうして作製された半導体増幅器は、ゲインリップルの測定により、ARコーティングの反射率0.1%以下を容易に実現できることがわかった。この場合、半導体光素子の端面側の屈折率が高く、空気側に行くほど屈折率が低くなっているため反射成分が低減できる効果もある。

【0054】

【実施例6】第6実施例も、図8の第4実施例の断面の様子と、基本的には同じである。

【0055】EB蒸着装置により真空度を $10^{-6}$ Torr

r程度まで引く。次に酸素を導入し $ZrO_2$ のEB蒸着を行う。この時、成膜時真空度を成膜始めは酸素導入して $3 \times 10^{-4}$ Torrで成膜し始める。酸素量は一定にしたまま成膜していくと、成膜時間の経過とともに成膜真空度は徐々に高くなっていき、成膜終了時頃には $10 \times 10^{-4}$ Torr程度になる。このとき膜厚は、第4実施例と同様に実時間光学モニターを行い、ARコーティングを形成した。ここで成膜された膜の屈折率は、図11で示すように膜厚方向において半導体基板側から空気側にかけて、1.83から1.90程度まで変化していることがわかる。

【0056】こうして作製された半導体増幅器はゲインリップルの測定によりARコーティングの反射率0.1%以下を容易に実現できることがわかった。

【0057】

【実施例7】図12は、本発明による半導体光素子を外部共振器レーザに用いた第7実施例を示す。本実施例においては、ARコーティング40は片面のみとし、他面35は $\lambda/2$ コーティング或はノンコートである。

【0058】この片面AR半導体増幅器11の作製プロセスは上記実施例と全く同じである。外部共振器レーザは前後レンズ32、33、光増幅器31、反射ブレードグレーティング34から構成され、グレーティング34への光波の入射角を変えることによって発振波長を選択することができる。

【0059】

【実施例8】図13は、本発明による半導体光素子を、半導体光増幅器に用いて波長多重送受信システムに適用した第8実施例を示す。本実施例において、ARコーティングは両面に形成されている。この半導体光増幅器40は、ゲインリップルの測定によりARコーティングの反射率が0.1%以下であることが分かった。半導体光増幅器40を閾値電流より少し小さい定電流注入状態とし、外部からレンズ或は伝送光ファイバ45によって光波を入力させ、半導体光増幅器40に結合させることにより、増幅光波を得ることができる。こうして内部ゲイン20~30dBを達成している。

【0060】図13のシステム概念図において、41は送信部、42は受信部、43、44は夫々合波、分波器である。こうした構成により、波長830nm及び840nmの信号を多重化し、光増幅器40で高ゲイン、低リップルで増幅し、100Mbps以上の伝送速度でクロストークのない信号の授受が可能となる。

【0061】ところで、以上は基板に垂直な端面に、本発明によるARコーティングを適用する例について述べた。しかし、基板と平行な表面、例えば、Si受光素子の集積デバイスの一部や面発光型の発光素子、光導波路の入出力部などの光入出力部に本発明を実施しても同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0062】



(8)

【実施例9】以下に本発明の第9実施例である光増幅器を説明する。図8は第9実施例の特徴をもよく表す断面図であり、同図において、22は半導体端面の緻密な誘電体薄膜層 $ZrO_2$ である。他は図8で説明した通りである。

【0063】本実施例では、スパッタ法を使用する。スパッタ装置に半導体基板21をセッティングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。Arガスを導入し、高周波(RF)パワー200Wで、 $ZrO_2$ 膜22の形成を行う。この時、成膜時真空度を $5 \times 10^{-3}$ Torrに固定して成膜し、 $\lambda/4$ ( $\lambda$ は波長)の膜厚となるようにモニターを行い、ARコーティングを形成した。この方法で形成した $ZrO_2$ 膜22の耐久性は、レーザのパッシベーションとして評価し、1万時間を越える耐久性が確認されている。

【0064】この様に半導体光素子に適したARコーティングを形成することができ、半導体光素子の光入出力面側に形成した誘電体薄膜層22は緻密な膜質であり十分な耐久性を持っていることが確認されている。また反射率も0.1%以下を達成している。この時、膜材料は1種類であるので膜厚制御は容易であり、1つの装置で作製できるので生産性もよく、素子作製の再現性もよくなった。

【0065】

【実施例10】第10実施例は第9実施例と同様な半導体基板21を用いている。

【0066】スパッタ装置に半導体基板21をセッティングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。Arガス、酸素を導入し、高周波(RF)パワー200Wで $ZrO_2$ 膜の形成を行う。この時、酸素導入量を成膜初期は $5 \times 10^{-5}$ Torrにし、成膜終了時には $3 \times 10^{-3}$ Torrになるように変化させながら、 $\lambda/4$ の膜厚となるようにモニターを行い、ARコーティングを形成した。この時のARコーティングの屈折率は膜厚方向において、半導体基板から空気側にかけて、1.98から1.83まで変化していることがわかっている。

【0067】この様に、半導体光素子に適したARコーティングを形成することができ、半導体光素子の光入出力面側に形成した $ZrO_2$ 膜は緻密な膜質であり、十分な耐久性を持っていることが確認されている。また反射率も0.1%以下を達成している。この時、膜材料は1種類であるので膜厚制御は容易であり、一装置で作製できるので生産性もよく、再現性もよくなった。またこの場合、半導体光素子の端面側の屈折率が高く、空気側に行くほど屈折率が低くなっているため、反射成分が低減できる効果もある。

【0068】

【実施例11】第11実施例は第9実施例の断面の構成と基本的には同じである。

【0069】スパッタ装置に半導体基板21をセッティ

ングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。Arガス、酸素を導入し、高周波(RF)パワー200Wで $ZrO_2$ 膜の形成を行う。この時、酸素導入量を成膜初期は $3 \times 10^{-3}$ Torrにし、成膜終了時には $5 \times 10^{-5}$ Torrになるように変化させながら、 $\lambda/4$ の膜厚となるようにモニターを行い、ARコーティングを形成した。この時のARコーティングの屈折率は膜厚方向において、半導体基板から空気側にかけて、1.83から1.98まで変化していることがわかっている。

【0070】この様に半導体光素子に適したARコーティングを形成することができ、半導体光素子の光入出力面側に形成した $ZrO_2$ 膜は緻密な膜質であり、十分な耐久性を持っていることが確認されている。また反射率も0.1%以下を達成している。この時、膜材料は1種類であるので膜厚制御は容易であり、一装置で作製できるので生産性もよく、再現性もよくなった。

【0071】

【実施例12】第12実施例は第9実施例の断面構成と基本的には同じである。

【0072】スパッタ装置に半導体基板21をセッティングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。Arガスを導入し、高周波パワー100Wで $ZrO_2$ 膜の形成を行う。この時、成膜温度を成膜初期は $200^\circ C$ にし、成膜終了時には室温になるように温度を変化させながら $\lambda/4$ の膜厚となるようにモニターを行い、ARコーティングを形成した。この時のARコーティングの屈折率は膜厚方向において、半導体基板から空気側にかけて、1.98から1.83まで変化していることがわかっている。

【0073】この様に半導体光素子に適したARコーティングを形成することができ、半導体光素子の光入出力面側に形成した $ZrO_2$ 膜は緻密な膜質であり、十分な耐久性を持っていることが確認されている。また反射率も0.1%以下を達成している。この時、膜材料は1種類であるので膜厚制御は容易であり、一装置で作製できるので生産性もよく、再現性もよくなった。また、この場合、半導体光素子の端面側の屈折率が高く、空気側に行くほど屈折率が低くなっているため、反射成分が低減できる効果もある。

【0074】

【実施例13】第13実施例は第9実施例の断面構成と基本的には同じである。

【0075】スパッタ装置に半導体基板21をセッティングし、真空度を $10^{-6}$ Torr程度まで引く。Arガスを導入し高周波パワー100Wで $ZrO_2$ 膜の形成を行う。この時、成膜温度を成膜初期は室温で始め、成膜終了時には $200^\circ C$ になるように温度を変化させながら $\lambda/4$ の膜厚となるようにモニターを行い、ARコーティングを形成した。この時のARコーティングの屈折率は膜厚方向において、半導体基板から空気側に向け

(9)

て、1.83から1.98まで変化していることがわかってる。

【0076】この様に半導体光素子に適したARコーティングを形成することができ、半導体光素子の光入出力面側に形成した $ZrO_2$ 膜は緻密な膜質であり、十分な耐久性を持っていることが確認されている。また反射率も0.1%以下を達成している。この時、膜材料は1種類であるので膜厚制御は容易であり、一装置で作製できるので生産性もよく、再現性もよくなった。

【0077】以上述べた第9乃至第13実施例では緻密な誘電体薄膜層を形成する方法としてスパッタ法について述べたが、これに限ることなく、プラズマCVD、IBS等による方法でもよく、更に緻密な誘電体薄膜層が形成されるならば他方法でもよい。

【0078】

【実施例14】第1乃至第4実施例及び第9乃至第13実施例による半導体光素子も、図12に示した外部レーザや、図13に示した波長多重送受信システムに適用することができる。

【0079】

【発明の効果】以上説明したように、半導体素子の光入出力面の少なくとも一方に誘電体薄膜層を施した半導体素子において、その誘電体薄膜層を形成する際、1層目の所望の膜厚 $d_1$ に、1層目の誘電体薄膜材料の屈折率 $n_1$ とモニター波長 $\lambda_1$ から求まる $n_1 d_1 = \lambda_1 / 4$ の関係を満足させるようにするモニター波長 $\lambda_1$ を用いることによって、膜厚制御が容易にでき、再現性もよく広帯域対応のARコート膜を有する半導体素子を作製することができ、半導体素子の性能を向上させる効果がある。

【0080】また、以上説明したように、本発明によれば、半導体素子の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施した半導体光素子において、その誘電体薄膜層が酸素を含む雰囲気において形成された $ZrO_2$ であり、 $ZrO_2$ の組成および屈折率を酸素分圧によって制御することにより、屈折率、膜厚制御が再現性よく形成することができ、半導体素子の性能を向上させる効果がある。

【0081】また、一種類の材料であるため、コストも安く、生産性も向上される。

【0082】更に、以上説明した様に、本発明によれば、半導体光素子の光入ないし出力面に誘電体薄膜層を施し、その誘電体薄膜層が、半導体素子の光入出力面側に形成され安定した組成を示す緻密な膜質層であることにより、耐久性が向上し、屈折率膜厚制御は容易に再現性が得られ、また材料が一つであるためコストが安く、生産性が向上するという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の装置図である。

【図2】本発明の第1実施例の反射率と膜厚の関係を示すグラフである。

【図3】本発明の第1実施例の反射率と波長の関係を示すグラフである。

【図4】本発明の第2実施例の反射率と膜厚の関係を示すグラフである。

【図5】本発明の第2実施例の装置図である。

【図6】本発明の第3実施例の反射率と膜厚の関係を示すグラフである。

【図7】本発明の第3実施例の装置図である。

【図8】本発明の第4実施例等である半導体基板に $ZrO_2$ 誘電体薄膜層を形成した断面図である。

【図9】本発明の第4実施例の $ZrO_2$ 膜の成膜時真空度と屈折率の関係を示すグラフである。

【図10】本発明の第5実施例の膜厚と屈折率の関係を示すグラフである。

【図11】本発明の第6実施例の膜厚と屈折率の関係を示すグラフである。

【図12】本発明の第7実施例等を示す図である。

【図13】本発明の第8実施例等を示す図である。

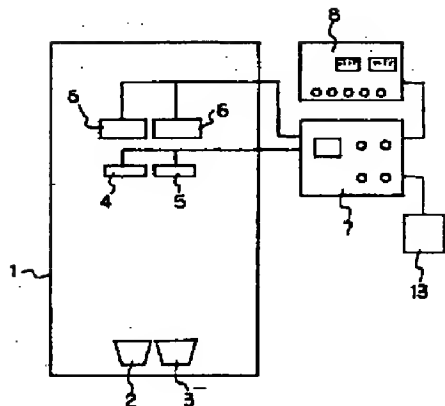
【図14】従来例を示す図である。

【符号の説明】

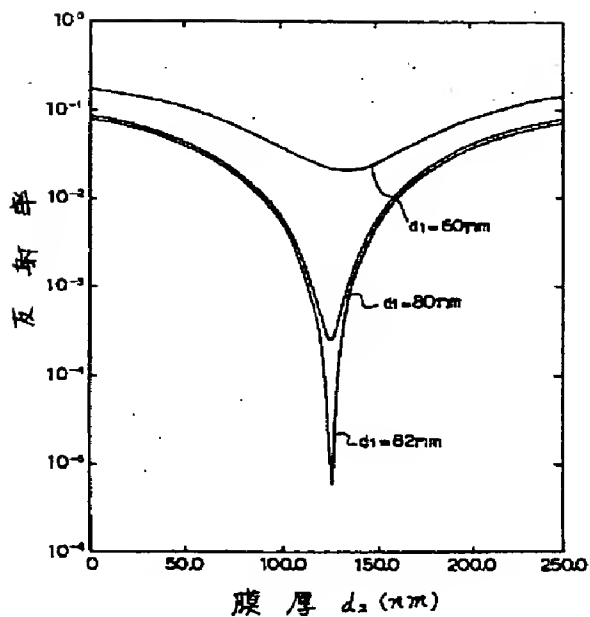
- 1……EB蒸着装置
- 2, 3……蒸発源
- 4, 5……半導体レーザ
- 6……フォトディテクター
- 7……コントローラー
- 8……ロックインアンプ
- 9……ガスレーザ
- 10……石英基板
- 11……白色ランプ
- 12……分光器
- 13……電源
- 21……半導体基板
- 22……誘電体薄膜層
- 23, 24……Au電極
- 25～28……エビ層
- 31, 40……半導体光増幅器
- 32, 33……結合レンズ
- 34……ブレードグレーティング
- 41……送信部
- 42……受信部
- 43, 44……合波、分波器
- 45……伝送光ファイバ

(10)

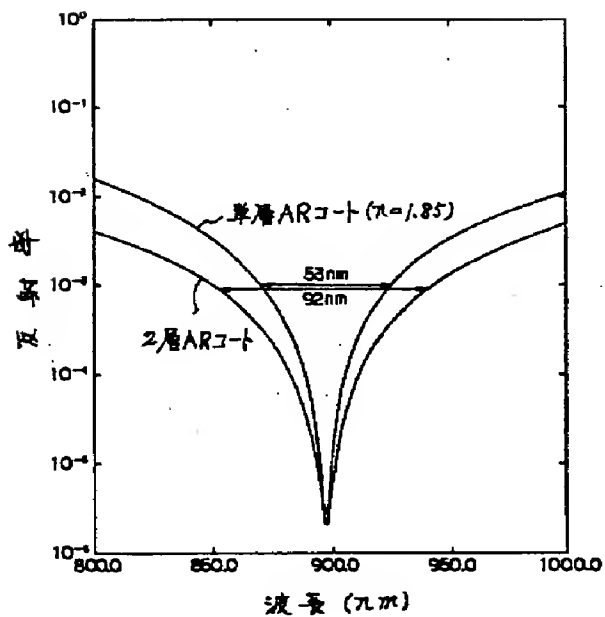
【図1】



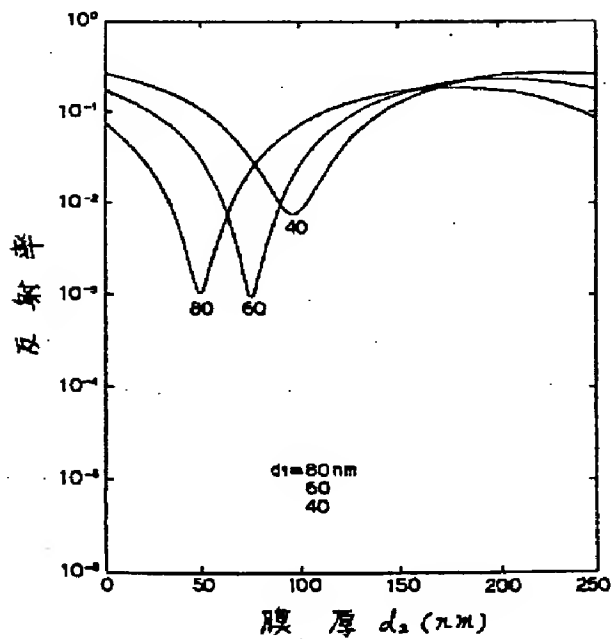
【図2】



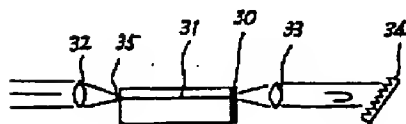
【図3】



【図4】

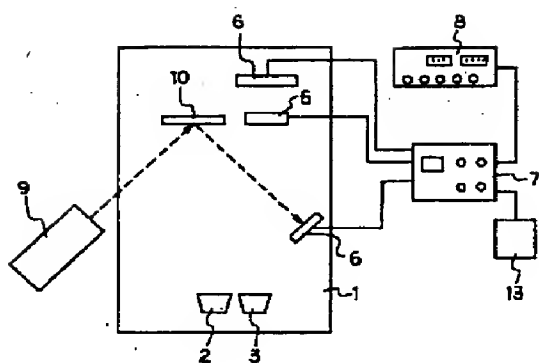


【図12】

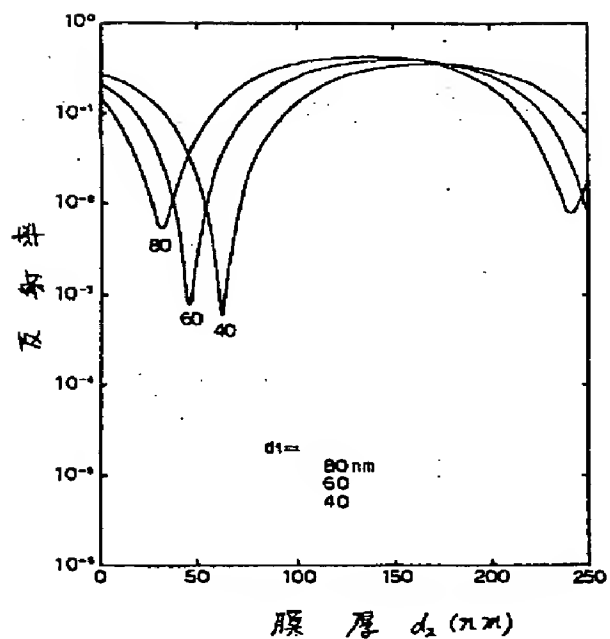


(11)

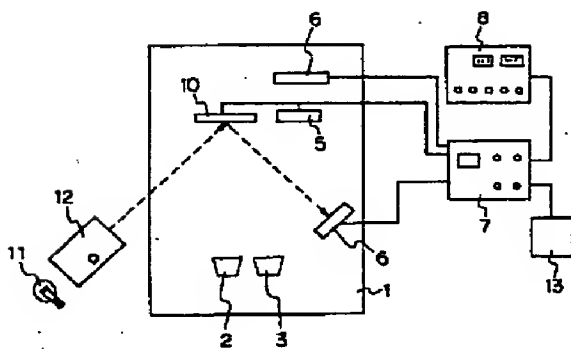
【図5】



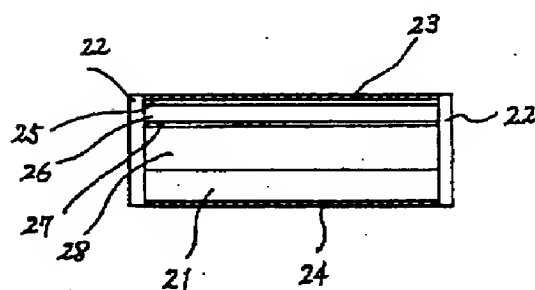
【図6】



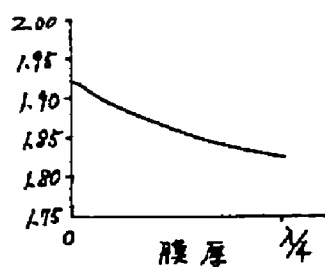
【図7】



【図8】

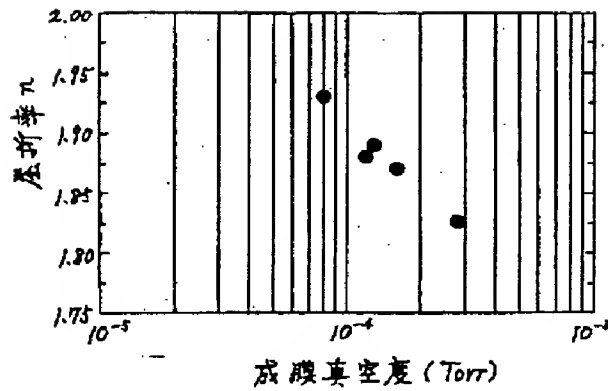


【図10】

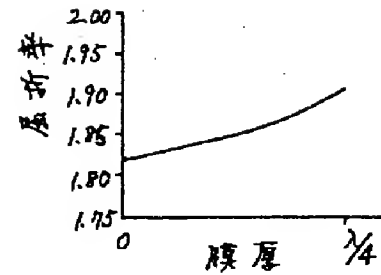


(12)

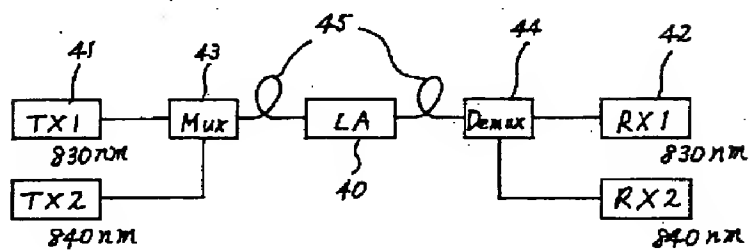
【図9】



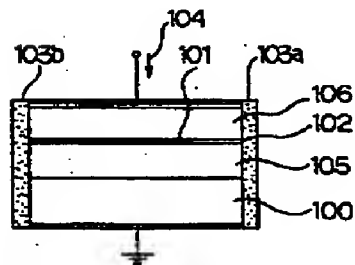
【図11】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 5

H 01 L 23/29

23/31

31/04

H 01 S 3/10

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所

Z 8934-4M